

10.12.2004

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 13 JAN 2005

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年11月20日  
Date of Application:

出願番号 特願2003-391201  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP2003-391201]

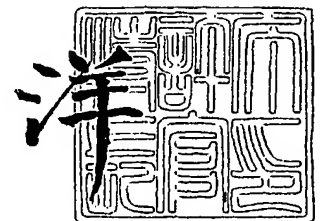
出願人 独立行政法人産業技術総合研究所  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年10月12日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小川



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願  
【整理番号】 329-03522  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G01N 21/00  
G01R 27/26  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所  
つくばセンター内  
【氏名】 川手 悦男  
【特許出願人】  
【識別番号】 301021533  
【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所  
【代表者】 吉川 弘之  
【電話番号】 029-861-3280  
【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

誘電率測定装置において、試料に光を照射し、該光が該試料を透過した透過光を測定し、該透過光のスペクトルに基づいて該試料の平坦度及び複素誘電率を求めることを特徴とする誘電率測定装置。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の誘電率測定装置において、上記試料への入射光の位置が可変であり、上記透過光を受光する検出器の位置も可変であることを特徴とする誘電率測定装置。

**【請求項 3】**

請求項 2 に記載の誘電率測定装置において、上記試料への入射光の入射角度が可変であることを特徴とする誘電率測定装置。

**【請求項 4】**

誘電率測定方法において、試料に光を照射し、該光が該試料を透過した透過光を測定し、該透過光のスペクトルに基づいて該試料の平坦度及び複素誘電率を求めることを特徴とする誘電率測定方法。

**【請求項 5】**

請求項 4 に記載の誘電率測定方法において、一様な誘電率の試料への入射光の位置を該試料面上で変化させながら上記透過光のスペクトルを測定し、基準の位置の該スペクトルと比較することにより該試料の平坦度を求めることを特徴とする誘電率測定方法。

**【請求項 6】**

請求項 5 に記載の誘電率測定方法において、上記試料への上記入射光の入射角度を大きくすることにより、該試料の平坦度を求めることを特徴とする誘電率測定方法。

**【請求項 7】**

請求項 4 乃至 6 に記載の誘電率測定方法において、一様な誘電率で一様な厚さの基板及び該基板の一部に薄膜が設けられた試料を用いて、該薄膜の複素誘電率を求めることを特徴とする誘電率測定方法。

**【請求項 8】**

請求項 7 に記載の誘電率測定方法において、上記試料の基板部分及び薄膜部分に光を照射し、それらを透過した光のスペクトルを比較することにより、該薄膜の複素誘電率を求めることを特徴とする誘電率測定方法。

**【請求項 9】**

請求項 4 乃至 8 に記載の誘電率測定方法において、上記照射する光は、S 偏光であることを特徴とする誘電率測定方法。

**【請求項 10】**

請求項 4 乃至 9 に記載の誘電率測定方法において、上記照射する光の波長は、ミリ波、サブミリ波及びテラヘルツ領域の光であることを特徴とする誘電率測定方法。

## 【書類名】明細書

【発明の名称】光の透過測定による試料の平坦度と複素誘電率測定装置及び測定法

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、基板や基板上の薄膜に光を照射し、その透過スペクトルの変化の測定から基板や基板上の薄膜の平坦度や複素誘電率を測定する装置及びその測定法に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

コンデンサーの容量測定から進化した容量法によって、数GHz以下ではLCRメータを用いて、基板上の薄膜の複素誘電率を測定できる（例えば、下記「特許文献1」参照）。容量法での高周波側の測定限界は、電極のロスの影響や、電極のインダクタンスによるLC共振の効果を補正することが困難なためである。

## 【0003】

高周波での複素誘電率測定では、一般に共振器法が用いられている。基板上の薄膜の複素誘電率は、その薄膜と電極から構成されたストリップラインやマイクロストリップライン等において、ネットワークアナライザーを用いて伝搬方向に対する強度と位相の変化の測定から求まる（例えば、下記「特許文献2」参照）。この方法で、0.1GHz～10GHz領域の複素誘電率測定が可能になる。ここでの高周波側の測定限界は、線路を構成する導体のロスを完全に分離、除去して薄膜だけの特性を得ることが困難なためである。

## 【0004】

さらに高周波領域で、基板上の薄膜の複素誘電率を測定するために、空洞共振器法が用いられている。空洞共振器中に基板上の薄膜試料を挿入した時としない時の共振周波数とQ値等をネットワークアナライザーで測定し、薄膜の複素誘電率を求めている（例えば、下記「特許文献3」参照）。この方法では、1GHz～50GHz領域の複素誘電率の測定が可能になる。ここでの高周波側の測定限界は、空洞共振器の物理的な大きさで決まっている。つまり、空洞共振器の寸法は波長程度（50GHzでは約6mm）であり、このとき空洞共振器の寸法精度が、共振器作製の工作精度とほぼ一致してしまうことである。寸法精度が低いと大きい測定誤差を生じてしまう。

## 【0005】

上述の容量法や共振器法では、測定器具の寸法に合わせるために、挿入する測定用試料に加工を必要とする破壊測定法であり、試料の加工には相当の手間と費用を要する。また、作製した試料の外形寸法、特に測定器具の内壁に接触する部分の寸法精度が低いと大きい測定誤差が生じ、正確な測定は困難になる。

## 【0006】

測定する試料に加工を加えない2つの非破壊測定法がある。一方は導波管の間に試料を挟む方法で、他方は試料に光を照射する方法である。

## 【0007】

2つの導波管で試料を挟み込んで、一方の開口面の反射係数及び他方の開口面の透過係数をネットワークアナライザーで測定して、これらの絶対値と位相角を、マックスウェル方程式を解くことにより導出した連立方程式に代入して、基板上の薄膜の複素誘電率を求める（例えば、下記「特許文献4」参照）。この方法は、非共振器法と呼ばれ、非破壊測定である。この方法では、1GHz～100GHz（波長で約3mm）領域の複素誘電率測定が可能になる。ここでの高周波側の測定限界は、上記段落【0004】及び【0005】と同様に、導波管の工作精度のためである。

## 【0008】

複素誘電率測定のためには、段落【0002】～【0007】の低周波側から高周波側に向かう『電氣的測定法』とは別に、高周波側から低周波側に向かう『光学的測定法』がある。一般に、光学測定技術では、非破壊、非接触、大気圧下で複素誘電率の測定が可能である。これらの光学測定法は、自由空間法と呼ばれている。

## 【0009】

試料に光を照射してその時の光学的応答（反射光或いは透過光）から、複素誘電率を求める方法では、試料の厚さを  $d$  として、測定波長を  $\lambda$  とすると、 $d/\lambda$  の比が小さいほど、複素誘電率の測定が困難になる。これは、光は波動であり、波の『山』と『谷』を繰り返しながら進んでいく。試料が薄くなると、例えば  $d/\lambda = 0.001$  程度になると、試料は入射光の『山』と『谷』の間のほんの一部としか相互作用しなくなり、試料から見ると直流の電場が作用したように見える。直流ではコンデンサーは単なる絶縁体であり、複素誘電率は実数の定数に近づく。以上のような理由で、 $d/\lambda$  の比が小さいときは、複素誘電率の測定が困難になる。

## 【0010】

不透明でない試料に光を入射させて、その透過スペクトルを測定して薄膜の複素誘電率を求めようとする時、薄膜の厚さが薄くなり、測定波長が長くなると、その測定は困難になる。この状況の計算の結果を図2に示す。ここでは、試料の厚さと複素誘電率は固定で、測定波長を変えたときの透過率スペクトルの計算結果である。基板 (S) の厚さと屈折率がそれぞれ  $692\mu\text{m}$  と  $3.4155$  で、薄膜 (F) の厚さと屈折率がそれぞれ  $0.4\mu\text{m}$  と  $1.812$  としている。各図中で実線が基板上の薄膜からなる試料の透過率スペクトル ( $T(F/S)$ ) で、点線が基板のみの透過率スペクトル ( $T(S)$ ) であり、これらの図ではスペクトルは約2フリンジ分のみ描いてある。図2(a)は入射波長が  $5\mu\text{m}$  近傍（中赤外光）で  $d/\lambda = 0.08$  であり、図2(b)～(d)では、それぞれ波長を1桁ずつ長くした場合である。図2(d)は波長が  $5\text{mm}$  近傍で（周波数では  $60\text{GHz}$  近傍で）、 $d/\lambda = 0.00008$  である。図2(c)と(d)では、基板のみの透過率スペクトル ( $T(S)$ ) と基板上の薄膜の透過率スペクトル ( $T(F/S)$ ) の差がほとんど無く、このままでは  $0.4\mu\text{m}$  の薄膜の複素誘電率を求めることは非常に困難である。ここで、複素誘電率 ( $\epsilon$ ) と複素屈折率 ( $n$ ) の間には、『 $n$  の2乗が  $\epsilon$  に等しい ( $n^2 = \epsilon$ )』の関係が成立する。単に屈折率と言う時は、複素屈折率の実数部のことである。

## 【0011】

自由空間法には、固定入射角度での反射係数の振幅及び位相を直接測定する方法（例えば、下記「非特許文献1」参照）や反射率の入射角度依存または反射率の試料厚さ依存または反射率の周波数依存から複素誘電率を求める方法（例えば、下記「非特許文献2」参照）がある。固定入射角度での測定法では、反射係数の振幅と位相を測定するために、ネットワークアナライザー等の高価な測定機器が必要である。入射角度を変える方法では、エネルギー反射率の測定だけであるので、ネットワークアナライザーを必要ない。しかし、両方の測定に共通して、反射率の絶対値を測定しなければならない。このためには、試料と同じ大きさの金属平板を基準試料とする必要があり、この金属平板の大きさと設置位置を被測定試料と同一にしないと測定誤差が生じるという問題がある。

## 【0012】

金属の基準試料を必要としない、新しい反射測定法が開発されている。試料にミリ波帯にある円偏波電磁波を照射した時の、試料によるTE波の反射係数とTM波の反射係数との比を求め、この比から複素誘電率を求める方法である（例えば、下記「特許文献5」参照）。

## 【0013】

段落【0011】と【0012】で述べた自由空間法での測定の感度は一般に低い。これまでのトップデータは、シリコン基板上の厚さ  $d = 3.27\mu\text{m}$  の低誘電体 (Low-k) ポリマー薄膜に、入射角度を変えながら  $925\text{GHz}$  ( $\lambda = 324\mu\text{m}$ ) のサブミリ波を照射してブリュスター角度前後での反射率を測定して複素誘電率を決定している（例えば、下記「特許文献3」参照）。この時の  $d/\lambda$  の比は、 $0.01$  である。

## 【0014】

段落【0002】～【0007】で述べてきたように、電気的測定法から出発しても、段落【0008】～【0013】で述べてきたように、光学的測定法から出発しても、周

波数で30GHz～3THz（波長で100 $\mu$ m～10mm）の間で基板上の薄膜の複素誘電率の測定は一般に困難な測定である。

#### 【0015】

現在通信システムに利用されている周波数帯域として、1.9GHz帯および2.45GHz帯の準マイクロ波帯域、および19GHz帯の準ミリ波帯域がある。準マイクロ波帯域は、パーソナル・ハンディ・ホン・システム（PHS）と中速無線LANの構内無線機器に割り当てられている。一方、準ミリ波帯域は高速無線LANの構内無線機器に割り当てられている。

#### 【0016】

さらに高周波の30GHz～3THzの領域は、今後の開発が期待される領域である。50GHz帯域のコードレス通信システムの研究開発や、60GHz帯域の衝突防止用車載レーダや、超高速無線LANの研究開発は盛んで、情報通信技術の大きな飛躍が期待されている。さらに高周波領域は、現状ではミリ波・サブミリ波天文学や核融合プラズマ研究開発の中で実用化され、重要な役割を果たしている。この高周波領域用の新しいデバイス開発のためには、この高周波領域での従来物質や新物質の複素誘電率の測定が、必要不可欠であり、重要な技術である。

#### 【0017】

半導体産業での、デバイスの高集積化、微細化に伴い、半導体ウェーハに対する品質要求は厳しくなってきた。特に基板となる半導体ウェーハについては、高平坦度が求められ、その都度、研磨技術のめざましい進歩によりその要求にできてきた。

#### 【0018】

しかし、平坦度の向上には、研磨技術だけではなく、それを評価するための高精度な平坦度測定法および装置が必要である。商品化された半導体の厚さ測定に広く使用されている非接触でウェーハ全面の平坦度の評価が可能な方法は、静電容量法と光干渉法である。

#### 【0019】

静電容量法では、互いに向き合う2つの電極（平板コンデンサー）の間に試料を挿入し、静電容量の変化を検出して試料の局所的厚さを測定している。このコンデンサーを試料表面上でスキャンして全面の平坦度を求めている（例えば、下記「特許文献6」参照）。静電容量法は、段落【0020】記載の光干渉方式の平坦度測定法に比べて、パーティクルの影響が少ない利点があり、またスライスウェーハからパターン付きのウェーハまで種々のウェーハ厚さや平坦度を非接触に測定できる。しかし、この方法は、半導体ウェーハ表面に界面活性剤水溶液の塗布を必要とし、さらに半導体ウェーハ表面に存在する自然酸化膜を除去しなくてはならない等の前処理を必要とする。

#### 【0020】

干渉法では、半導体ウェーハに例えば赤外線を照射して、試料からの反射光を検出器で電気信号に変換する。測定されたスペクトルには、半導体ウェーハ内部での多重反射のためのフリンジがあらわれる。このフリンジの間隔から試料の局所的厚さが求まる。この光照射位置を試料表面上でスキャンして全面の平坦度を求めている（例えば、下記「特許文献7」参照）。この方法は、前処理が不要で、研磨加工工程中に *in situ* の計測も可能である。

#### 【0021】

現在実用化されている研磨加工方法で達成できる平坦度は、1～5 $\mu$ mである（例えば、下記「特許文献7」参照）。これに、研磨加工前に基板の表面形状を平坦度測定器で計測して、この測定結果を基にして基板を矯正チャックで真空吸着しながら変形させて所望の形状に矯正した後、その矯正形状を保持した状態で研磨加工をおこなうと、0.3 $\mu$ mの平坦度が達成できる（例えば、下記「特許文献8」参照）。

#### 【0022】

【特許文献1】特開2002-286771号公報

【特許文献2】特開平11-166952号公報

【特許文献3】特開2002-228600号公報

【特許文献4】特開2002-214161号公報

【特許文献5】特開2000-193608号公報

【特許文献6】特開平10-281710号公報

【特許文献7】特開平8-216016号公報

【特許文献8】特開平5-315307号公報

【非特許文献1】機能材料、Vol. 18, No10, (1998), p.47

【非特許文献2】電子情報通信学会論文誌、B-II, Vol. J80-B-II, No10, (1997), p. 906

【非特許文献3】Applied Physics Letter vol.74, (1999), 2113~2115

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0023】

本発明は従来技術の実情に鑑みて為されたものであって、今後の製品開発の方向が30GHzより高周波側であること、およびこの周波数領域で基板上のLow-k（低誘電体；これについては段落【0026】及び【0027】において説明する。）薄膜の複素誘電率の測定に対する需要が大きいこと、さらにこの周波数領域で薄膜の厚さが $1\mu\text{m}$ 以下でも複素誘電率が測定できる技術であれば、実際の半導体産業の製造現場で *in situ* の製品管理のための装置として実用化できることから、30GHzより高周波側で基板上の薄膜の複素誘電率の測定を可能とする技術開発をめざす。しかし、実際半導体産業で使われている半導体ウェーハの平坦度は $1\mu\text{m}$ より大きいために、従来のような単なる高感度複素誘電率測定装置の開発では上記の目標は達成できない。この発明では、基板の平坦度と基板上の薄膜の複素誘電率の両方を同じ測定装置で測定して、薄膜の厚さが $1\mu\text{m}$ 以下でも複素誘電率が測定できる方法および装置を提供することを技術的課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0024】

半導体基板が透明である波長では、透過率測定が可能である。さらに基板が平行平板であれば、基板内の多重反射のために、その透過スペクトルにフリンジが現れる。このフリンジのピーク周波数は、

【数1】

$$\nu_s = \frac{cN}{2d_s \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta}}$$

で表される。ここで、 $c$ と $N$ はそれぞれ光速と整数で、 $\nu_s$ 、 $d_s$ 、 $n_s$ 、 $\theta$ は、それぞれピーク周波数、基板の厚さ、基板の屈折率、入射角度である。同様に、基板上の薄膜の透過スペクトルにもフリンジが現れ、このフリンジのピーク周波数は、

【数2】

$$\nu_f = \frac{cN}{2d_s \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta} + 2d_f \sqrt{n_f^2 - \sin^2 \theta}}$$

で表される。ここで、 $\nu_f$ 、 $d_f$ 、 $n_f$ は、それぞれピーク周波数、薄膜の厚さ、薄膜の屈折率である。

## 【0025】

基板のピーク周波数からその基板に薄膜を成膜した試料でのピーク周波数の変位量  $\Delta \nu$  ( $=\nu_f - \nu_s$ ) は、(数1) と (数2) から求まり、

## 【数3】

$$\frac{\Delta \nu}{\nu_s} = - \frac{d_f \sqrt{n_f^2 - \sin^2 \theta}}{d_s \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta}}$$

である。

## 【0026】

ここで、高誘電体 (High-k) 膜の場合についてまず見積もってみる。基板が例えばシリコン ( $n_s=3.4$  で  $d_s=700 \mu\text{m}$ ) で、薄膜 (厚さ  $d_f=1 \mu\text{m}$ ) が金属のような High-k 材料では  $n_f \sim 100$  或いはそれ以上が可能である。この時、65GHz 付近のミリ波を垂直入射で照射した時のピーク位置の変位量は、(数3) から、 $-2.7\text{GHz}$  と求まる。一方、(数1) からフリンジのピーク間隔は、63GHz と求まる。High-k 薄膜が有る時と無い時で、ピーク位置が、1 フリンジの中で約 4% ( $=-2.7/63$ ) 低周波側へずれるのであるから、これは各々の試料の透過スペクトルを測定すれば、検出可能な量であり、 $1 \mu\text{m}$  の厚さの High-k 薄膜の複素誘電率を求めることができる。

## 【0027】

次に低誘電体 (Low-k) 膜の場合について見積もってみる。基板が例えばシリコン ( $n_s=3.4$  で  $d_s=700 \mu\text{m}$ ) で、薄膜 (厚さ  $d_f=1 \mu\text{m}$ ) がシリコンの熱酸化膜 ( $\text{SiO}_2$ ) のような Low-k 材料では  $n_f=1.8$  である。この時、65GHz 付近のミリ波を入射角度を変えながら照射した時のピーク周波数の変位量  $\Delta \nu$  (数3) と、フリンジのピーク間隔  $\nu_s$  (数1) を求めた結果を表1にまとめる。

【表1】

ピークの変位量  $\Delta \nu$  とフリンジのピーク間隔  $\nu_s$  の入射角度依存性

	0度	60度	70度	80度	85度	90度
$\Delta \nu (\text{GHz})$	-0.0492	-0.0447	-0.0436	-0.0430	-0.0428	-0.0428
$\nu_s (\text{GHz})$	63.0252	65.1749	65.5796	65.8479	65.9182	65.9419
$\Delta \nu / \nu_s$ (%)	-0.078	-0.069	-0.067	-0.065	-0.065	-0.065

Low-k 薄膜が有る時と無い時で、ピーク位置が、1 フリンジの中で最大約 0.078% ( $=\Delta \nu / \nu_s = -0.04916 / 63.02520$ ) しか低周波数側へ変位しない。このために各々の試料の透過スペクトルを測定しても、ピーク周波数の変移量を検出できず、Low-k 薄膜の複素誘電率を求めることができない。

表1の計算では、シリコンの複素屈折率の実数部が有限の値 ( $n_s=3.4$ ) で、虚数部をゼロ ( $k=0$ ) としているので、透過ピークでは透過率は 100% になっている。さらに、表1の第3行目 ( $\nu_s$ ) は、フリンジのピーク間隔であるが、(数1) からわかるように、これらの値は、(数1) で最初に現れるフリンジのピーク位置 ( $N=1$ ) の周波数でもある。



## 【0028】

S偏向とP偏向の透過率 ( $T_s$ と $T_p$ ) と反射率 ( $R_s$ と $R_p$ ) の入射角度依存性を図3に示す。ここでは、シリコン基板 ( $n_s=3.4$ で $d_s=700\mu m$ ) に60GHzのミリ波を照射した場合についての計算結果である。表1からわかるように、この入射周波数の60GHzは、この試料のフリンジのピーク周波数より低周波側にずれている。S偏向の透過率 ( $T_s$ ) に注目すると、入射角度を増加させると、透過率は単調に減少して、90度で零になっている。P偏向の透過率 ( $T_p$ ) でも75度付近のブリュスター角度で最大値になった後は、入射角度を増加させると、透過率は単調に減少して、90度で零になっている。

## 【0029】

段落【0027】から基板内の多重反射のために現れるフリンジのピーク周波数では入射角度に依らず、透過率は最大値 ( $k=0$ では透過率は100%) をとる。一方、段落【0028】からピーク周波数からはずれた周波数では、入射角度を増加させると透過率はゼロに近づく。これら2つの効果が重なると、透過スペクトルは入射角度を増加させると半値幅が徐々に狭くなって、痩せていく。このようすを図4に示す。

## 【0030】

段落【0027】の表1の第2行 ( $\Delta\psi$ ) から、基板と基板上の薄膜では、その透過率スペクトルのピークの周波数はずれている。大きな入射角度 (斜入射) で基板の透過スペクトル ( $T(S)$ ) と基板上の薄膜試料の透過スペクトル ( $T(F/S)$ ) を測定して、それらの比 (相対透過率;  $T(F/S)/T(S)$ ) をとると段落【0029】の効果のために、最大値と最小値が隣接した曲線が得られる。この曲線は180度の回転対称中心を持っている。このようすを図5(a)と(b)に示す。この計算では、基板をシリコン ( $n_s=3.4155$ で $d_s=700\mu m$ ) で薄膜をシリコンの熱酸化膜 ( $n_f=1.812$ ) で、図5(a)はこの薄膜の厚さが $2\mu m$ で、図5(b)は厚さが $0.4\mu m$ である。この計算結果では、入射角度85度のときに、膜厚が $2\mu m$ では±7%のピーク、膜厚が $0.4\mu m$ では±1.4%のピークが表れている。

## 【0031】

ここまでの計算では、基板と薄膜の両方の複素屈折率の虚数部 ( $k$ ) をゼロとしてきた。基板の $k$ がゼロでない時は、基板と基板上の薄膜の透過率スペクトルのピークは100%より下がるが、両方で同じだけ下がるために、それらの比 (段落【0030】参照) をとると、定性的には図5(a)と(b)と同じになる。一方、薄膜の $k$ がゼロでない時は、基板上の薄膜の透過率スペクトルのピークが基板のそれより下がる。この結果、基板と基板上の薄膜の透過率スペクトルの比をとると、最大値が下がり、180度の回転対称中心が無くなる。

## 【発明の効果】

## 【0032】

下記段落【0035】の半月状に薄膜で覆われた試料の測定結果の図6において、この相対透過率曲線にベストフィットするように薄膜の複素誘電率を選ぶことで、薄膜の複素誘電率は実数部  $\epsilon_1=3.5$ で虚数部  $\epsilon_2=0.08$ と求まった。下記段落【0037】の様な厚さのシリコン基板の試料の測定結果の図8において、4インチのシリコン基板は65GHz付近のミリ波で測定すると、ほぼ楔形をしていると推定できる。次にこれらの相対透過率曲線にベストフィットするように鏡面对称の角度と基板の平坦度を求めると、角度が11.2度で、平坦度が、約 $20\mu m$ である。

このように、電気的な測定に依らず光学的な測定により、基板の平坦度と基板上の薄膜の複素誘電率の両方を同じ測定装置で測定して、薄膜の厚さが $1\mu m$ 以下でも複素誘電率が測定できる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0033】

以下に、発明を実施するための最良の形態を示す。

## 【実施例】

## 【0034】

本発明に係わる複素誘電率測定の実施例を図面を参照して説明する。

図1は、複素誘電率測定装置10の配置図である。光源12（この図ではミリ波後進波管（BWG））を出たCW光はメカニカルチョッパ14で強度変調をうける。レンズ15とアパーチャー16を通過した光は平面波になる。試料11の前面でレンズ17とアパーチャー18で試料面上に集光する。この入射系30に必要な応じてポーライザー（この図では省略）と光パワーの減衰器（この図では省略）を入れる。試料を透過した光のみをレンズ19とアパーチャー20で受信して平面波にする。この光をレンズ21とアパーチャー22で受けて検出器（この図ではゴーレーセル）に集光する。光の強度信号は検出器で電気信号に変換されて計測器（この図では省略）に送られる。試料から検出器までを受光系31と呼ぶことにする。光源、試料、検出器等は、ほぼ一直線上に並んでいる。この光の進行方向をz軸にとる。光源は試料への光の入射位置を任意に変えるために、x-y自動ステージ（この図では省略）に載せてある。試料は入射角度を変えるために、自動回転ステージ（この図では省略）に載せてあり、垂直軸（y軸）の回りに自由に回転できる。検出器は最適の位置に設置できるように、x-y-z自動ステージ（この図では省略）と自動回転ステージ（この図では省略）に載せてある。試料ホルダー（この図では省略）は斜入射でも入射光を遮蔽しないように工夫をしてあり、さらに試料を透過しない光が受光系に入射することを避けるために、試料ホルダーには電波吸収体（この図では省略）を取り付けてある。試料に平行光線を入射させるときには、レンズ17と19は使わない。

#### 【0035】

直径4インチで厚さ700 $\mu$ mのシリコン基板上に、厚さ10 $\mu$ mの熱酸化膜（SiO<sub>2</sub>）を両面に成膜し、次に、表裏の同じ位置の熱酸化膜を半月状に完全に除膜しシリコン面が露出した試料を準備した。この試料を図1の試料ホルダー上にセットした。S偏向の光を熱酸化膜の残っている面（上半分面）と、除膜した面（下半分面）に、斜入射（入射角度70度）で照射してその時の各々の透過スペクトルを測定し、それぞれT(SiO<sub>2</sub>/Si)とT(Si)と呼ぶことにする。ここで基板に対する基板上の薄膜試料の透過スペクトルの比（相対透過率=T(SiO<sub>2</sub>/Si)/T(Si)）を求めた。この結果を図6に示す。この図に表れている『最大値と最小値が隣接した曲線』は、図5(a)と(b)の計算結果と定性的に良く一致をしている。

#### 【0036】

段落【0035】と同じ試料で、入射角度を変えて測定した結果を図7に示す。この測定結果では、入射角度が0度～40度の間では相対透過率にほとんど差が無くて、60度、70度、80度、そして85度と入射角度を増加させると相対透過率に表れている構造が成長している。この入射角度依存性も図5(a)と(b)の計算結果と良く一致をしている。

#### 【0037】

一様な厚さ700 $\mu$ mのシリコン基板を図1の試料ホルダーにセットして、試料への入射角度を85度に設定した。次に、試料面に垂直で中心を通る軸の回りで試料を回転させながら、各角度で試料の上半分面の透過スペクトルと下半分面の透過スペクトルを測定し、それらのスペクトルの比（相対透過率）を計算した。この結果を図8に示してある。この図では、試料の中心軸の回りでの回転角度をパラメータとしている。この図に表れている『最大値と最小値が隣接した曲線』は、基板が完全に平坦でないためである。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0038】

本発明は、今後開発が期待されている高周波領域（30GHz～3THz）で、従来物質や新物質の複素誘電率の測定技術である。この領域で、新しい高周波デバイス開発のためには、薄膜の複素誘電率の測定が必要不可欠であること、さらに、本発明はこの周波数領域で薄膜の厚さが1 $\mu$ m以下でも複素誘電率が測定できる技術であるので、実際の半導体産業の製造現場でin situの製品管理のための装置として実用化できる。さらに、実際半導体産業で使われている半導体ウェーハの平坦度は1 $\mu$ mより大きいために、従来のような単なる高感度複素誘電率測定装置とことなり、本発明では、基板の平坦度と基板上の薄膜の複素誘電率の両方を同じ測定装置で測定して、薄膜の厚さが1 $\mu$ m以下でも複素誘電率が測定できる方法および装置を提供する。

## 【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】 複素誘電率測定装置の概念図

【図2】 垂直入射での基板と基板上の薄膜の透過率スペクトルを示す図

【図3】 S偏向とP偏向の透過率と反射率の入射角度依存性を示す図

【図4】 入射角度を変えたときのS偏向の透過率スペクトルの周波数依存性を示す図

【図5】 膜厚が $2\mu\text{m}$ と $0.4\mu\text{m}$ の時の相対透過率を示す図

【図6】 S偏向で70度入射の時の相対透過率の測定結果図

【図7】 入射角度を変えたときのS偏光の相対透過率の測定結果図

【図8】 入射角度85度で試料面上で測定場所を変えたときの相対透過率の測定結果図

## 【符号の説明】

【0040】

10 複素誘電率測定装置

11

試料

12

光源

13

検出器

14

メカニカルチョッパ

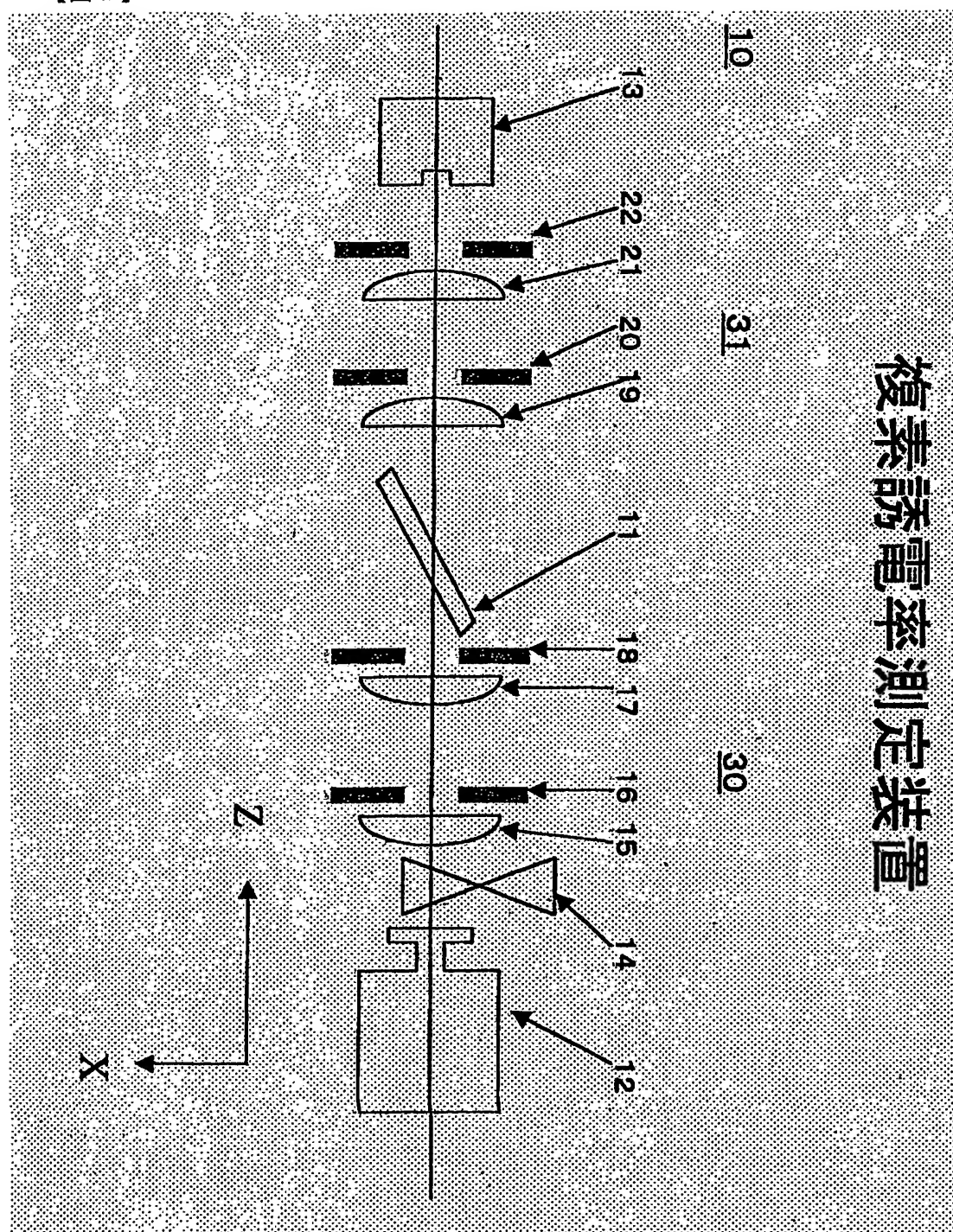
15, 17, 19, 21 レンズ

16, 18, 20, 22 アパーチャー

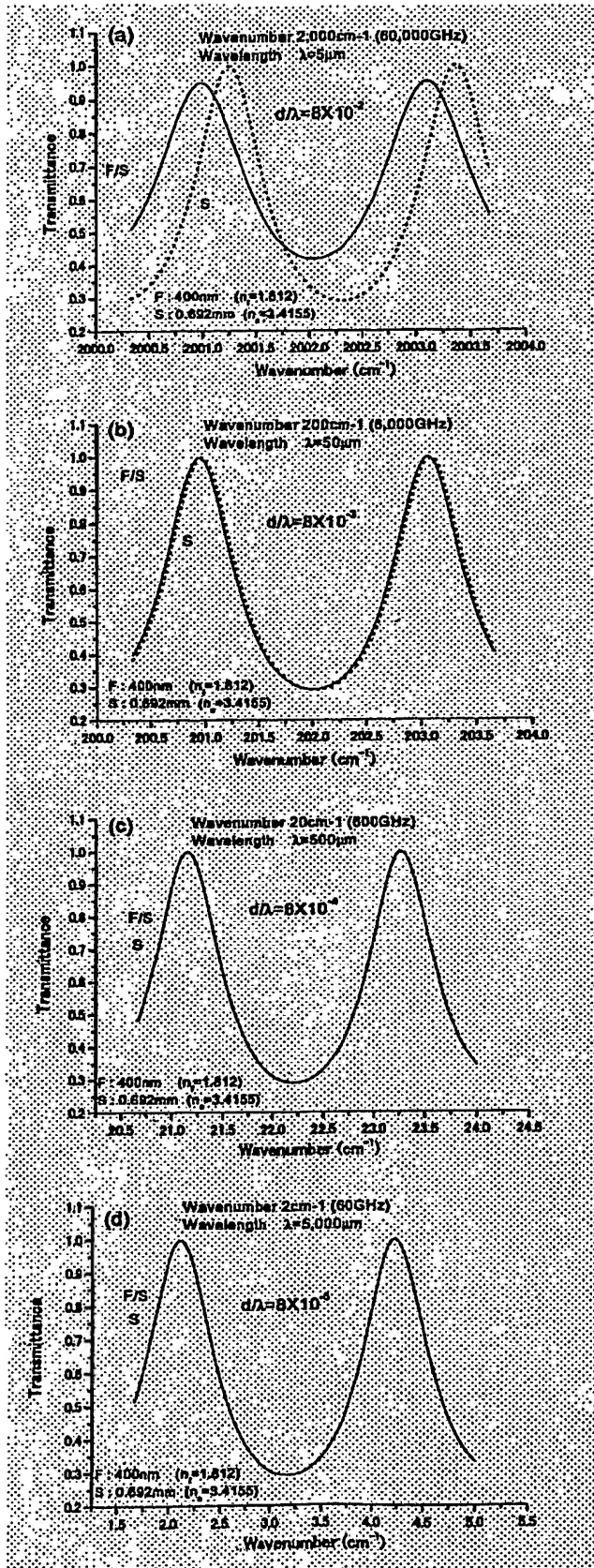
30 入射系

31 受光系

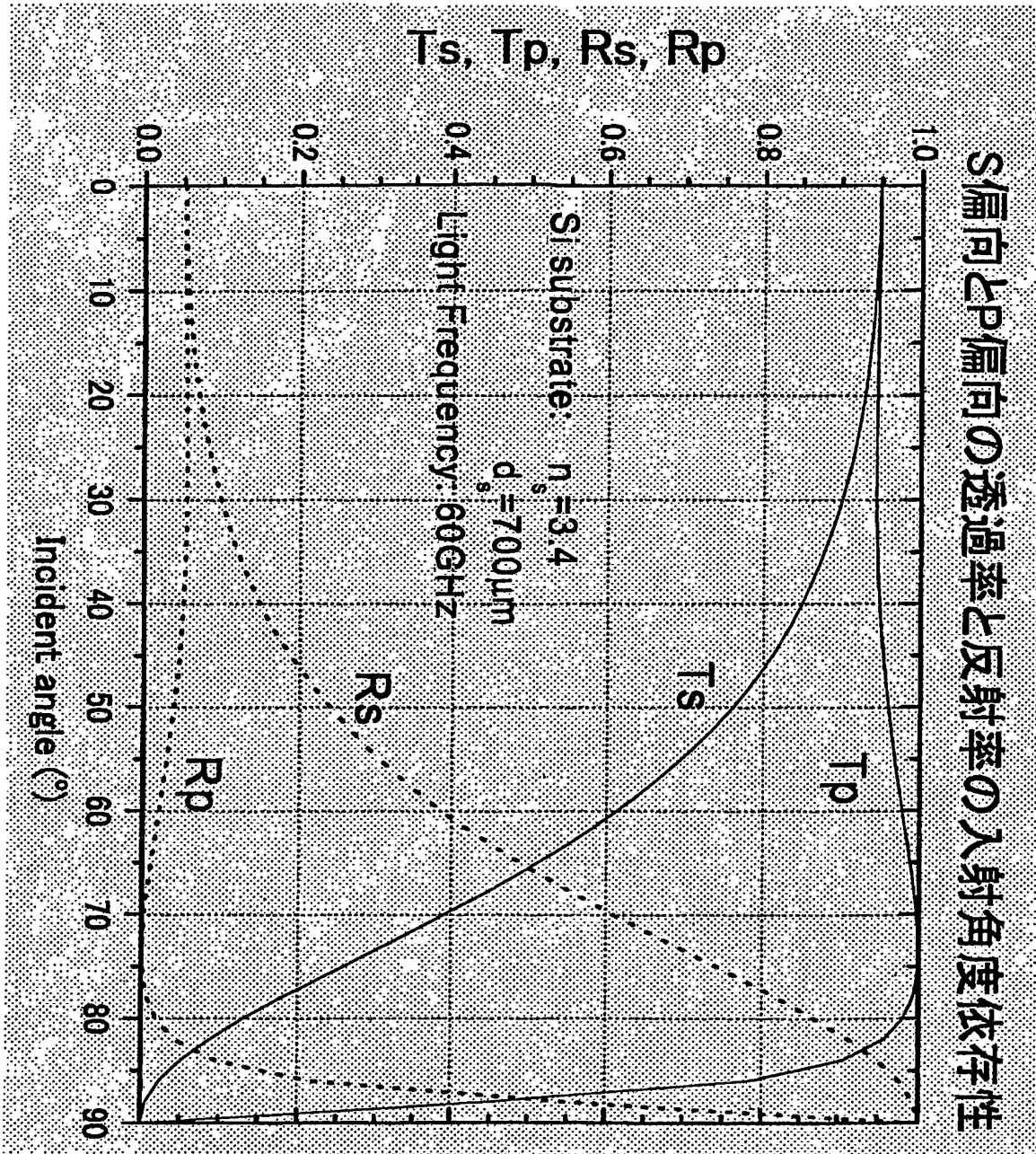
【書類名】 図面  
【図 1】



【図 2】

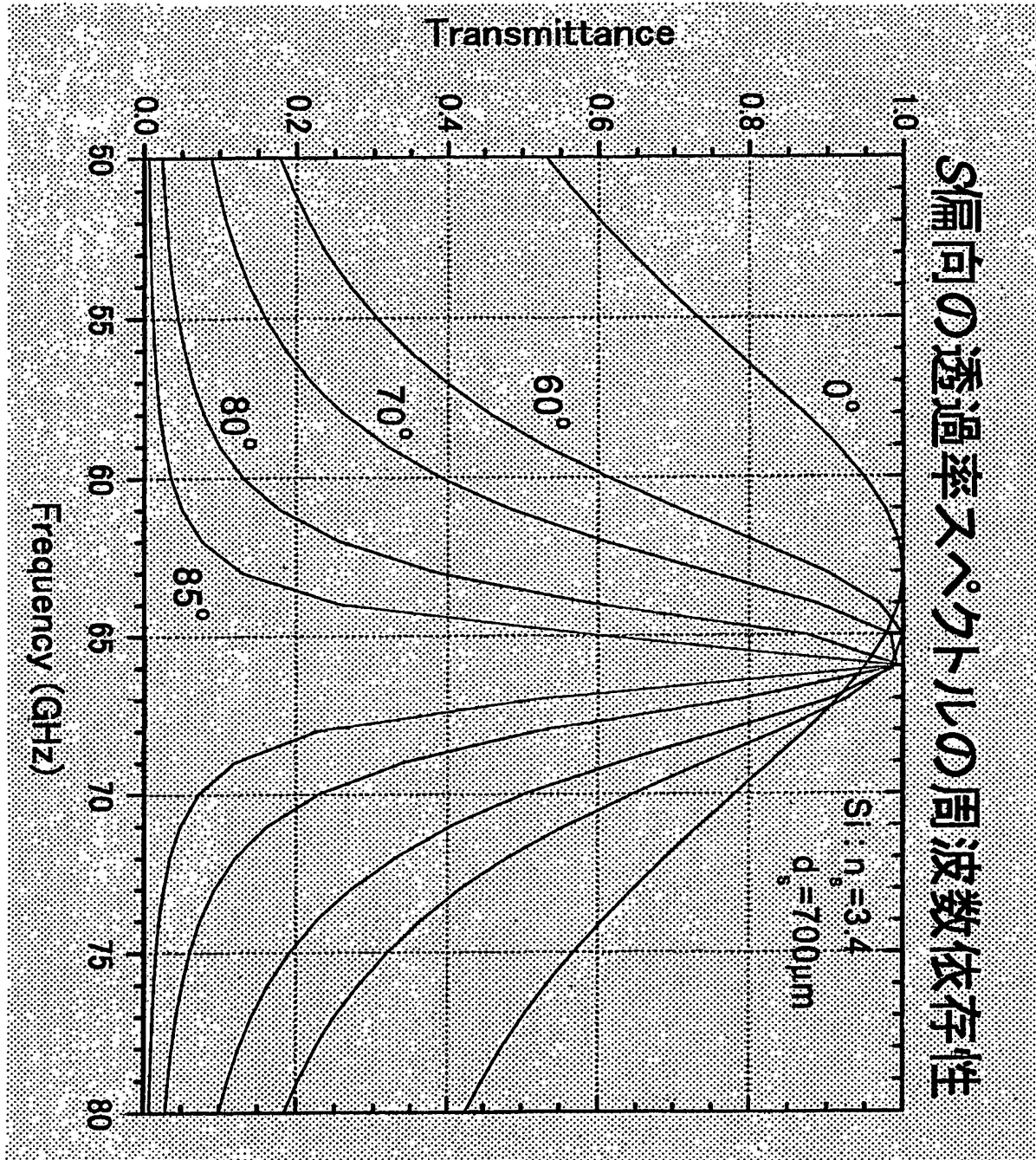


【図3】

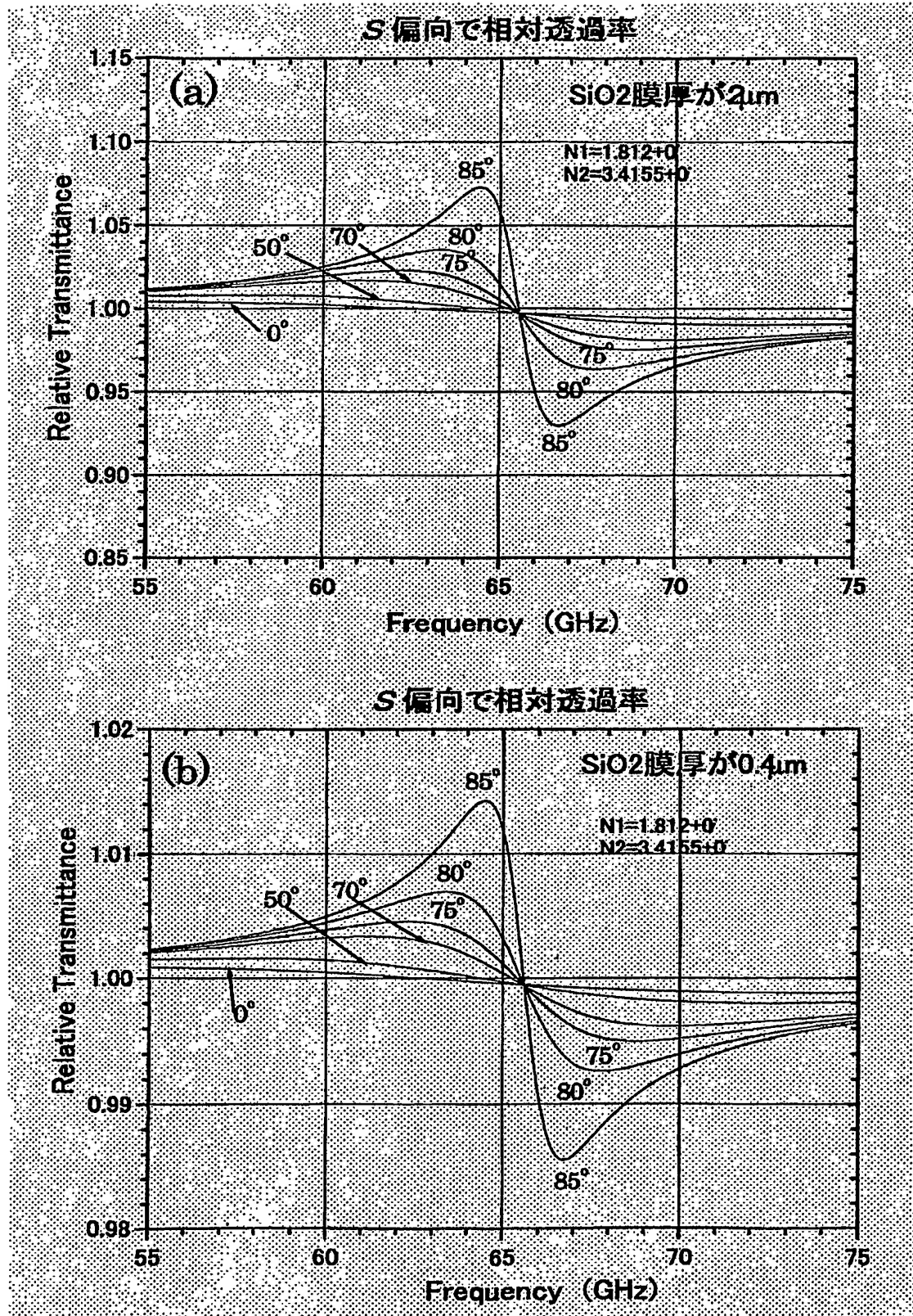




【図 4】

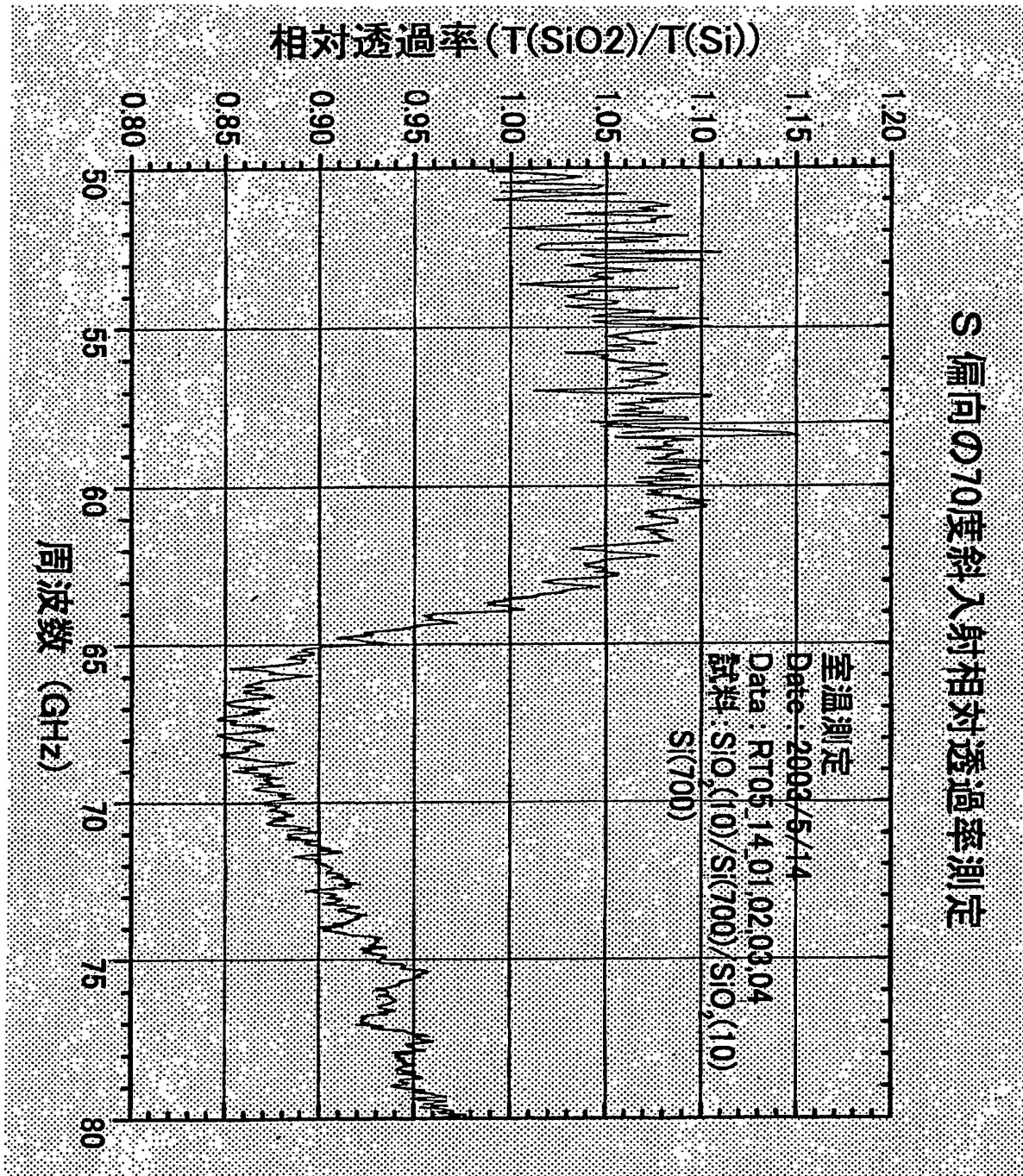


【図 5】

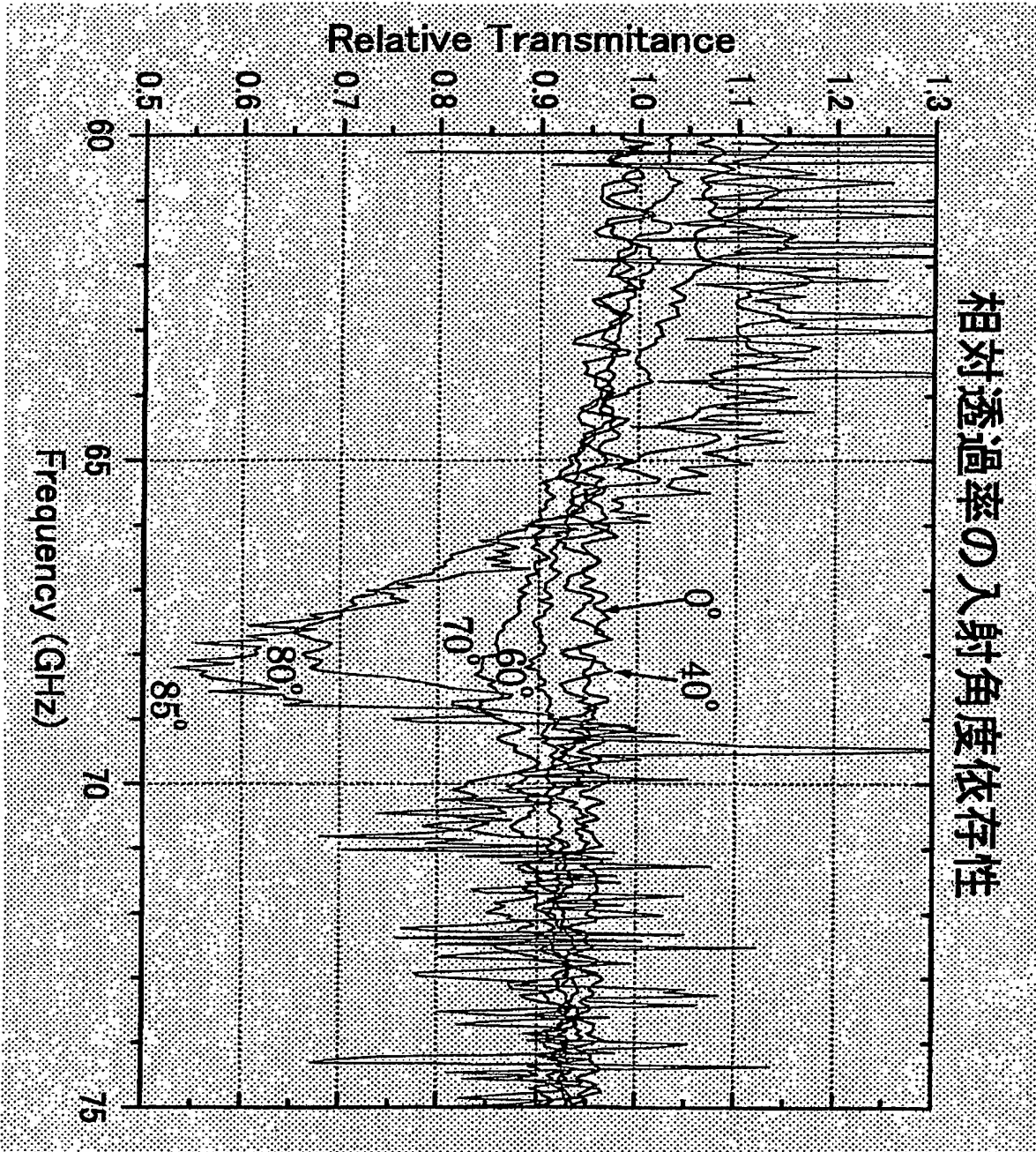




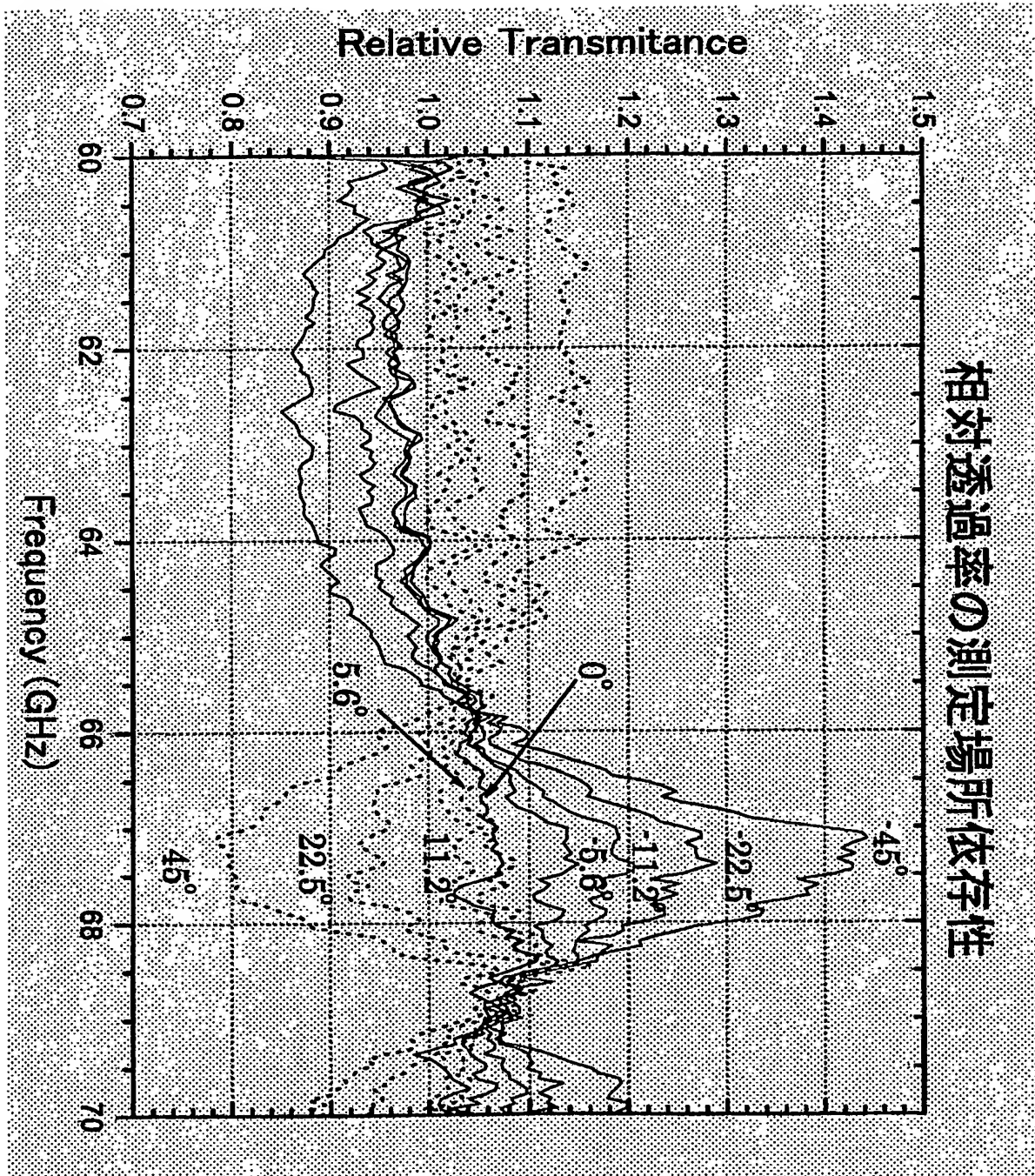
【図 6】



【図 7】



【図 8】



**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】** 試料の透過スペクトルを測定することで、基板の平坦度と薄膜の複素誘電率の両方を測定できる光学系を実現する。

**【解決手段】** 平行平板状の基板の透過スペクトルは、フリンジのピーク周波数では入射角度に依らず、透過率は一定で最大値をとるが、その周辺周波数では、入射角度を増加させると透過率はゼロに近づく。この基板に薄膜を載せて厚さを増加させると、フリンジのピーク周波数は低周波側にずれる。これら 3 つの効果のために、高入射角度で基板のみの透過スペクトルに対する基板と薄膜からなる系の透過スペクトルの比のスペクトルは、最大値と最小値が隣接した構造のスペクトルになり、薄膜の複素誘電率が求まる。さらに、基板上で光の照射位置を移動させながら同様の測定をして、基準位置の透過スペクトルとの比のスペクトルに前述の構造が表れれば、そのスペクトルから基板の平坦度が求まる。

**【選択図】** 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 3 9 1 2 0 1
受付番号	5 0 3 0 1 9 1 9 4 5 3
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 1 1 月 2 1 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成 1 5 年 1 1 月 2 0 日

特願 2 0 0 3 - 3 9 1 2 0 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 0 1 0 2 1 5 3 3 ]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 4 月 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関 1 - 3 - 1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**